

# 動物行動における道具的反応の測定と実際

澤 幸祐

## 要約

ヒトや動物が示す行動の多くはいわゆるオペラント行動、道具的行動であり、その予測と制御は心理学において重要な目的の一つとされてきた。こうした目的のためには、道具的行動の正確な測定と記述が重要であり、Thorndikeによる問題箱やSkinnerによるオペラントチャンバーの開発など、歴史的に様々な実験手法が開発されてきた。本稿では、こうした道具的反応の測定に関する歴史的経緯を簡単に概観し、本年度本学に導入されたオペラントチャンバーに関して紹介する。合わせて、オペラントチャンバーを実際に用いた研究例を紹介し、こうした器材によって動物行動に関してどのような研究が可能か、またヒトとの連続性を考える上でどのような応用的知見が得られるかについて展望する。

心理学という学問の究極的な目標には様々な意見があるだろうが、その中でも伝統的に取り上げられてきたものに「行動の予測と制御」というものがある。ヒトを含む生活体が、与えられた刺激状況の中で次にどのような行動をとるのかを正確に予測したい、あるいは生活体に対して望んだ行動を取らせたい、というのはアカデミックな意味合いを抜きにしても多くの人々が興味を示すことであろうし、また実現した場合には様々な応用が可能となるだろう。消費者がどのような商品を購入するのか予測することができれば大きな利益をあげることができるし、また生徒や学生に望ましい行動を取らせるためにはどのような教育方法が適切であるかが明らかとなれば、教育現場にとっては大変に有意義な成果となる。もちろん、現代の心理学はこうした要請に対して完全に答えているわけではないが、B. F. Skinnerをその始祖とする行動分析学は、環境と行動の関数関係を記述するという方法を通じて一定の成果を上げてきたといつてよい。

このように、環境と行動の関数関係を記述するためには、ヒトや動物が示す行動をいかにして客観的に観察、あるいは測定するかが重要である。筆者はこれまでに、日本心理学会年次大会において「動物学習研究の方法論」と題したワークショップに関わっており、主に動物の学習行動を研究するための方法論と行動の測定技法に関して様々な企画に関与してきた。そのなかでは、古典的条件づけに関わる技法もさることながら、中心的な問題は道具的条件づけやオペラント条件づけと呼ばれるような、生活体の随意的な行動に関するものであったといえる。例えば、空間内に与えられた手掛かり刺激に基づいてエサが隠されているゴール位置を学習するといった空間学習事態は、手掛かり刺激間の競合などに関して古典的条件づけの理論が援用されることはあつ

ても、被験体が随意的に行う行動がエサ報酬によって強化されるという意味においてはオペラント行動であり、空間学習成績の測定については道具的条件づけにおいて培われてきた技法が多く使われている。

一言で道具的行動といっても、その範囲は極めて多岐に渡るため、その実験事態や測定技法も様々な種類が存在する。そこで本稿では、道具的行動の測定技法に関してこれまでに用いられてきた代表的な事態を概観するとともに、本年度に本学に導入されたオペラントチャンバーを紹介する。最後には、当該の設備を用いて本学で行われた実験の実例について述べ、道具的反応の測定に関する問題とその応用に関して概観する。

## Thorndikeの問題箱

道具的條件づけの歴史的出発点は、Edward Thorndikeによる問題箱（puzzle box）実験にさかのぼることができる（Thorndike, 1911; Chance, 1999も参照のこと）。1874年に生まれ、Cattellのもと学位を取得したThorndikeの時代には、動物の知性に関して様々な言説が存在した。例えば、逸話で知られるRomanesが亡くなったのは1894年であり、動物が示した行動に関して多くの「擬人的な解釈」が新聞誌上などで取り上げられ人口に膾炙したのもこの時期である。これに対してThorndikeは、動物が推論するといった考え方に反論し、動物が示す問題解決行動は試行錯誤（trial and error）と効果の法則（law of effect）によるものであるとして、被験体としてネコを用いた問題箱実験を行った。

Thorndikeの用いた問題箱においては、空腹な状態におかれたネコが問題箱から脱出するまでの潜時が重要な指標となる。問題箱の中では様々な行動を取ることが可能であるが、あらかじめ決められた手順で行うことによって問題箱が開き、ネコは脱出してエサ報酬を得ることができる。こうした実験事態において、問題箱からの脱出潜時を測定したThorndikeは、試行を追うごとに潜時が徐々に短縮されていくことを見出した。このことから、動物は試行錯誤によって様々な行動を行うこと、その中で動物にとって満足をもたらす結果が生じた際には環境と行動の間に連合が形成され、以後は当該行動の生起頻度が上昇することによって問題箱からの脱出潜時が相対的に短縮されていくと解釈したわけである。この問題箱という実験事態はその後、Guthrie & Horton (1946) による活動固定化原理（stop-action principle）の発見などに用いられ、エサなどの強化子に基づく強化が機械的に生じていくことを示す研究などに利用された。しかしながら、Psychinfoをはじめとする文献データベースなどで検索すると、その後は決して多くの研究で用いられたわけではない様子がうかがえる。この理由については、次節で紹介する直線走路にも関係するので、次節に譲ることとする。

## 直線走路

直線走路とは、その名の通りスタート箱とゴール箱とを直線の走路で結んだだけの単純な実験事態である。空腹状態に置かれたラットはスタート箱に入れられ、スタート箱とゴール箱のギリチンドアが開放されることで走路を移動してゴール箱をめざし、ゴール箱におかれているエサ報酬を得るとというのが一般的な手続きであるが、オスラットを被験体として用いてゴール箱ではメス

ラットとの接触および交尾機会を得るという実験も行われている。

この直線走路事態においては、スタート箱からゴール箱への走行反応が標的行動となるが、その指標としては走行速度、あるいはスタートしてからゴールするまでにかかった潜時が用いられる。学習初期には長い時間が必要であったものが、訓練を進めるにつれてゴールに到着するまでの潜時が短縮することをもって学習の成立とみなすわけである。こうした直線走路事態では、1日に数回の試行を実施しつつ試行ごとにエサ報酬の量が系統的に上昇する、あるいは下降するといった系列性、あるいは法則性をもつ事態を設定することでラットの走行時間がどのように変化するかを検討するという、いわゆる系列学習や法則学習に関する研究が数多く行われてきた。具体的には、例えば第1試行においてはエサペレット10個、第2試行においては7個、第3試行においては4個、第4試行においては1個、第5試行においてはエサが置かれていないという訓練を施すと、ラットがゴール箱に到達するまでの潜時は試行を追うごとに遅くなっていくという結果が得られる。こうした行動が、エサ報酬の数が「徐々に減っていく」という法則性を学習した結果であるのか、あるいは各試行におけるエサの数を個別に学習した結果や前試行のエサの数が弁別刺激として次の試行の走行反応を制御した結果であるのかについては様々な理論的立場が存在するが、ここではあくまでも実験手法の紹介が目的であるので、詳細は省略することにする。

直線走路事態は、その極めて単純な実験状況に比して動物が法則を学習できるかといった複雑な問題を扱うことが大きな利点ではあるが、その一方で実験にかかる労力が多大であるという問題が存在する。これは先述の問題箱でも同様であるが、こうした実験事態においては、動物は試行終了ごとに実験者の手による介入によってホームケージ、あるいは試行間間隔を過ごす別の待機場所に移動させられる必要がある。複数個体に複数試行を経験させなければならない一般的な学習実験において、こうした問題は被験体にとってもストレスになると同時に実験者にとっては煩雑であり、多くの試行を実施することの妨げとなる。Skinnerは、こうした問題を解決するべく直線走路のスタート箱とゴール箱を連結する迂回路を設けた実験装置を紹介するなど（Skinner, 1956）、実験者になるべく被験体に触れないで複数の道具的反応を記録できるような実験事態を設定したが、こうした理想が体现されるのは次節に述べるオペラントチャンバーの完成を待たねばならなかった。

## オペラントチャンバーについて

本年度に採択された文部科学省私立大学戦略的研究基盤形成事業の助成によって、本研究センターではMed社製オペラントチャンバー 4機を導入した。このオペラントチャンバーは、いわゆるスキナー箱として知られる極めてスタンダードな実験機材であり、B. F. Skinnerによってその基盤が作られた行動分析学においてはラットやハトといった動物を用いた基礎研究の場で広く使用されてきたものである。本学では、今回の導入に先立ってすでに4機のオペラントチャンバーを保有していたが、今回の追加導入に伴って総数8機となり、日本国内の大学では有数の実験設備を有することとなった。以下では本学が有するオペラントチャンバーについて紹介するとともに、その使用法や本プロジェクトにおける実際の使用例などを説明する。

オペラントチャンバーは、その名の通りもともとはオペラント行動の研究のために考案されたもので、最

少構成としてはライトやスピーカーといった刺激提示装置、被験体が反応するためのレバー、およびエサ報酬を提示するためのマガジンとエサ皿が設置される。音刺激や光刺激といった弁別刺激に対して被験体がレバー押しというオペラント行動を自発し、反応に対する結果事象としてエサが強化子として提示されるというように使用される。Med社製スキナー箱では、これらの構成に加えてライトやスピーカー、レバーなどを必要に応じて追加できるような構造になっており、より複雑な実験事態を使用するための拡張性に優れるという特徴を持っている。本学保有のスキナー箱では、実験箱内にハウスライト、刺激用ライト、スピーカー、および実験箱内への出し入れが可能なリトラクタブルレバーを各1機ずつ設置し（図1）、これに加えて電気ショックなどの嫌悪的な刺激を提示するためのグリッド床（図2）を導入した。また、エサ提示ではなく水やショ糖溶液を強化子として提示するためのディッパー（図3）を導入している。ディッパーへの反応は、ディッパーが呈示される場所への接近反応を赤外線ビームの遮断を検出する方法によって測定することができ、いわゆるゴールトラッキング反応として検討可能である。



図1. オペラントチャンバー内側。音刺激提示用スピーカー、ライト、リトラクタブルレバー（格納状態）、報酬提示口。



図2. 電気ショック提示用グリッド床

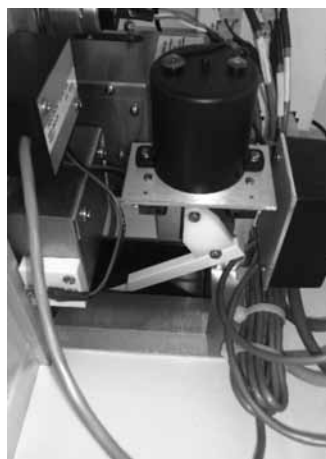


図3. 液体報酬提示用ディッパー

このオペラントチャンバーの持つ最大の利点は、先述の問題箱や直線走路といった実験事態において見られた「試行ごとに実験者の介入が必要である」という問題の克服にあるといえよう。オペラントチャンバー内の被験体は、オペラントチャンバー内においてレバーが呈示されている間はいつでも反応することができる。すなわち、実験者は特定のレバー押し反応とその次のレバー押し反応の間に被験体に触れる必要はなく、被験体はセッション全体を通じて自由なタイミングでのオペラント反応の表出が可能となる。こうした実験状況の変化は、より少ない労力で多くの反応に関する検討を可能にしたが、同時に行動の測定に関しても大きな変化をもたらした。問題箱実験において最も重要な指標は、問題箱に閉じ込められてから正反応を表出して脱出するまでの潜時であった。また直線走路においても、重要な指標はスタート箱からゴール箱まで移動するのに要した時間、すなわち潜時である。一方で、オペラントチャンバー内においては被験体は自由なタイミングでレバー押しなどの反応を表出することができるため、反応の潜時のみならず「どの程度の反応が出たか」あるいは「単位時間あたりの反応数」、すなわち反応率が重要な指標となる。

反応潜時から反応率へ、という道具的反応の指標の変化は反応の測定およびその記述方法についても変化をもたらした。行動分析学においては累積反応記録が重要な役割を果たすこととなった。伝統的な累積反応記録器は、ドラムによって記録用紙が一定のペースで送り出されるところにペンを当て、反応があるごとにペンが記録用紙の移動方向とは垂直に移動するというシンプルな方法で動作する。これにより、反応率が低い場合には緩やかな傾き、高い場合には急峻な傾きの線が描かれることとなり、被験体の道具的反応の様子を視覚的に確認することができる。この方法は、被験体の行動を統計的にまとめて議論するよりもむしろ個体ごとの反応を検討することを重視したSkinnerの理念とも相まって、行動分析学においては広く用いられているものである。現在では機械式の累積反応記録器は用いられなくなり、本学に導入されたものと同様にコンピュータ制御によって被験体の反応を記録し、後から累積反応記録の形式にまとめなおすという方法がとられることが一般的である。

さて、オペラントチャンバーを実験に用いる際には、専用のプログラムを書いて刺激の提示タイミングの制御や動物の反応の適切な記録を行う必要がある。Med社製のオペラントチャンバーでは、これはMedState Notationと呼ばれる言語を用いて記述することになっている。詳細な言語仕様についてはマニュアルに譲るが、MedState Notationではプログラムは状態（state）の集合からなるセット（state set）と遷移という形式で記述される。すなわち、時間の経過やレバー押しといった反応などによって状態が遷移し、次の状態において処理が行われ、また別の状態に遷移していくという具合である。各セットは同時並行的に処理され、それぞれのセット内に記述されている状態の間を遷移していくことで実験が制御される。下に、実際に本研究室で用いたプログラムの一部を例示する。

-----  
S.S.2,

S1,

#START--->S2

S2,

W(1) #T: OFF^Houselight; OFF^Lever; OFF^Dipper ---> STOPABORTFLUSH

---

これは、ある実験プログラムの中からセット2 (State Set 2; S.S.2) を抜き出したものである。S.S.2 は、さらに2つの状態S1とS2から構成されており、プログラム全体にはこうしたセットが複数記述されている。プログラムが実行されると、各セットの初期状態であるS1が実行されるが、上の例では"START"で定義されている信号が入力されることでS2へと状態遷移が行われる。S2に遷移すると、引き続いて"W"で定義されたリストの中の第1要素分の時間が経過するのを待ってハウスライトの消灯、リトラクタブルレバーおよびディッパーの格納を行ったうえで実験セッションが終了するといった処理が行われる。MedState Notationは、人間にも理解しやすいように設計されたいわゆる高級言語であるが、実行に当たっては実行速度の向上のためにコンパイルされる。現在のコンピュータの処理速度は相当に早いものになっているため、最適化された実験用プログラムは十分な時間精度で動作することができるが、それでもなおMedState Notationが仮定するような「各セットの並列処理」はあくまでもバーチャルに実現されているにすぎない。そのため、極めて高精度の時間制御が必要な場合には注意が必要であるが、生理指標との連動などを行わない行動実験の場合には、特に問題は生じないと考えられる。

### 使用例：恐怖条件づけの復元効果と抑うつに関連について

オペラントチャンバーの使用用途は、先に述べたように道具的条件づけの研究に限定されるものではなく、古典的条件づけなどを含む動物行動全般の検討に用いることができる。現在、本プロジェクトにおいて検討されている「心の連続性を探る」という問題を扱う上でも、様々な研究において用いることが可能である。その中でも、現在本研究室で行われている研究の一つである恐怖条件づけの復元効果に関するものを紹介する。

生得的には特段の反応を喚起しないような中性刺激に対して、エサや電気ショックなどのように何らかの反応を喚起するような刺激を対提示することによって、中性刺激が新たな反応を喚起するようになる現象を古典的条件づけと呼ぶ。なかでも音刺激や光刺激に対して電気ショックを対提示することにより、音刺激などに対して凍結反応などが喚起されるようになるものは恐怖条件づけと呼ばれ、ラットなどの動物だけでなくヒトにおいても確認されることから恐怖症などのヒトの臨床的問題に対して基礎的な知見を与えるものとして古くから検討がなされてきた。こうした臨床的応用を考えるうえで、広く検討されている話題に復元効果 (renewal effect; Bouton & King, 1983) が挙げられる。次のような状況を想像してもらいたい。電車や映画館などで事故や犯罪に巻き込まれるなど、強いストレス状況を経験したとする。そうした人々は、臨床心理士や精神科医の門を叩き、専門的な治療やカウンセリングを受けることになる。しかしながら、彼らの中には病院やカウンセリングルームでは問題なく回復したかのような行動を見せるにも関わらず、いざ電車や映画館などの環境に暴露されると症状が再発してしまうことがある。復元効果は、こうした臨床的な場面において報告されているような再発の問題に対して学習心理学の観点から説明を与えるものである。典型的な実験手続きでは、ま

ズラットなどの被験体に対して実験文脈Aにおいて条件刺激と電気ショックの対提示という恐怖条件づけ手続きを行う。続いて被験体は実験文脈Bにおいて条件刺激の単独提示を経験し、恐怖条件づけが消去される。最後にテストにおいては、実験文脈Aへと戻されたうえで条件刺激の提示を受け、恐怖反応の程度が測定される。こうした手続きを経験した被験体においては、消去手続きを実験文脈Aで経験した被験体と比較した際にテストにおいてより強い恐怖反応が確認され、「消去されたはずの恐怖反応が復元する」という結果が得られる。これは、電車や映画館において獲得した恐怖反応を病院などの場面において治療した後に、元の環境に戻ることで恐怖反応が再発してしまうことの動物モデルとしてとらえることが可能であり、いかにして復元効果を抑えるかなど様々な研究が行われてきた。

本研究室では、こうした復元効果に関して、抑うつによる影響を検討する実験を行っている。PTSDなどに代表されるような強い恐怖経験、ストレス事態に暴露されることによって生じる臨床的問題には、恐怖反応に加えて抑うつの存在が広く認められる。このように、抑うつに関する研究は極めて重要であるものの、実験的にヒトを抑うつ状態に置くことは倫理的に許されるものではなく、ラットなどによる動物モデルを用いた研究が広く行われてきた。抑うつの動物モデルとして用いられている実験事態の中でも心理学領域で広く知られているものにSeligmanらによる学習性絶望事態 (Maier & Seligman, 1976) があるが、その形成に時間がかかることなどもあり、薬理学などの分野ではPorsoltによる強制水泳試験が広く用いられている (Porsolt, Le Pichon, & Jalfre, 1977)。強制水泳試験では、ラットやマウスといった被験体が足のつかない円形の水槽に入れられる。これらの被験体は泳ぐことはできるが、なんとか脱出しようと水槽の壁面を登ろうとするような行動を見せるが、ある程度の時間が経過すると“あきらめたかのように”無動状態に陥る。この無動状態を持ってヒトの抑うつ状態のアナロジーとみなし、抗うつ剤の薬効評価などの場面において広く用いられている。

これをうけ、恐怖条件づけの復元効果に対して強制水泳による抑うつの効果がどのように影響するかを検討する実験を行った。実験では、ライトを条件刺激 (conditioned stimulus; CS)、電気ショックを無条件刺激 (unconditioned stimulus; US) として対提示を行い、CS単独提示による消去を行ったうえでテストを行うという手続きが用いられた。その際に、条件づけの獲得、消去およびテストに用いる実験文脈としてオペラントチャンバーの側面にサンドペーパーを貼付する文脈となにも加工を行わない文脈を設定した。復元効果の典型的な実験デザインであるABAデザインを用い、消去文脈を変化させるABA条件、変化させないAAA条件を設定し、さらに恐怖条件づけと消去の間に強制水泳による抑うつ操作を加えるFS (Forced Swim) 条件、加えないNo-FS条件を設定した2×2の要因計画で実験を行った。

この実験で測定すべき対象は、「被験体がCSに対してどの程度の恐怖を感じているか」ということであるが、“恐怖”という情動はあくまでも主観的経験であり、そのままでは客観的に測定することができない。ましてラットのような動物では言語報告などを用いることもできないので、行動指標によって測定することになる。一般にラットは、天敵に遭遇するなど恐怖事態におかれた際には3通りの行動をとるとされる。すなわち、闘争、逃走、凍結である。恐怖条件づけ研究では、このうちの凍

結反応をもって恐怖の指標と考えることが一般的である。凍結反応は、CS提示中にラットが無動状態を呈する時間の長さなどを測定することによって観察されるが、オペラントチャンバーを用いた実験では条件性抑制（conditioned suppression; Estes & Skinner, 1941）と呼ばれる技法を用いて測定することができる。この方法を用いるために、条件づけに先立ってラットはレバー押しに対してエサ報酬が与えられるといった道具的反応の訓練を受け、一定のペースで反応を繰り返すような状態を作り出す。この反応をベースライン反応とし、恐怖を喚起すると思われるCSをベースライン反応中のラットに対して提示する。喚起される恐怖が強くなればなるほど、より強い凍結反応が喚起され、結果的にベースライン反応は通常の状態よりも抑制される。このベースライン反応の抑制の程度を抑制率として表し、恐怖の指標あるいは恐怖条件づけの獲得の程度とみなすわけである。

条件性抑制の技法を用い、先に述べたような抑うつ操作が恐怖条件づけに対してどのような影響を与えるか検討したところ、現時点においては抑うつ操作は復元効果そのものに対して影響するというよりもむしろ、恐怖条件づけの消去に対して影響を与えている可能性を示唆する結果が得られている。今後も研究を継続していく必要があるが、こうした結果は恐怖症やPTSDといった症状の治療方法の選定にあたって抑うつなどの問題がどのような影響を及ぼすのか検討していくうえで重要な示唆を与えるものと期待される。

## まとめ

動物行動研究の歴史は、まさしく行動測定技法の歴史である。言語による教示や内省報告、質問紙による回答が可能なヒトと異なり、ラットなどの小型げっ歯類は当然のこととして、チンパンジーのようなヒトと近縁な動物においても刺激性制御と行動指標による検討は欠かすことのできない重要なものである。心理学が扱う「心的過程」が目に見えないものである以上、それを客観的な方法で扱うためには心的概念の操作的定義と対応する行動の測定はその意義を失うことはない。今後も様々な技法が開発され、目には見えない心の働きを可視化していくことで、基礎・応用の両面に関して多くの進歩が期待される。

## 引用文献

- Bouton, M. E., & King, D. A. (1983). Contextual control of the extinction of conditioned fear: Tests for the associative value of the context. *Journal of Experimental Psychology: Animal Behavior Processes*, 4, 248-265.
- Chance, P. (1999). Thorndike's puzzle boxes and the origins of the experimental analysis of behavior. *Journal of the experimental analysis of behavior*, 72, 433-40.
- Estes, W. K. & Skinner, B. F. (1941). Some quantitative properties of anxiety. *Journal of Experimental Psychology*, 29, 390-400.
- Guthrie, E. R. and Horton, G. P. (1946). *Cats in a puzzle box*. New York: Rinehart.
- Maier, S. F., & Seligman, M. E. P. (1976). Learned helplessness: Theory and evidence. *Journal of Experimental Psychology: General*, 105, 3-46.



Porsolt, R. D., Le Pichon, M. & Jalfre, M. (1977). Depression: a new animal model sensitive to antidepressant treatments. *Nature*, 266, 730 - 732.

Skinner, B. F. (1956). A case history of scientific method. *American Psychologist*, 11, 221-233.

Thorndike, E. L. (1911). *Animal Intelligence*. New York: McMillan.